

Implementasi Sensor Magnetometer dan Akselerometer Untuk Memonitor Arah Muatan Roket

Eko Saifulloh Noor, Mochammad Rif'an, ST., MT., dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Abstrak— Kompetisi Muatan Roket Indonesia tingkat perguruan tinggi (KOMURINDO) merupakan suatu ajang kompetisi yang diselenggarakan Dirjen DIKTI bekerjasama dengan LAPAN setiap setahun sekali dengan tujuan memupuk rasa cinta teknologi dirgantara. Tema KOMURINDO 2013 adalah *high rate attitude monitoring and surveillance payload* dimana muatan roket mampu melakukan penginderaan dinamik, mengambil dan mengirim data *surveillance* berupa foto melalui udara. Penelitian ini membahas *attitude monitoring* berupa sudut hadap. Penelitian ini bertujuan membuat suatu alat untuk memantau sudut hadap muatan roket yang dapat mengkompensasi kemiringan.

Sistem ini terdiri atas *3-axis accelerometer* dan *3-axis magnetometer* LSM303DLHC, mikrokontroler, serial konverter dan komputer. Data keluaran sensor *accelerometer* digunakan dalam perhitungan gerak *pitch* dan *roll*. Besar sudut *pitch* dan *roll* bersama data medan magnet bumi dalam *3-axis* dari magnetometer diolah dalam rumusan pengkompensasi kemiringan untuk mendapatkan arah hadap yang tetap presisi hingga kemiringan tertentu. Pengujian menunjukkan alat dapat berfungsi dengan baik mengukur sudut hadap dengan kemiringan berdasarkan gerak *pitch* hingga kemiringan $\pm 90^\circ$ dari bidang datar, selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 5.95%. Sedangkan dengan kemiringan berdasarkan gerak *roll* sudut hadap dapat terukur dengan baik dalam satu putaran penuh, selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 3.04%.

Kata Kunci— KOMURINDO 2013, Magnetometer, Accelerometer, Kompensasi Kemiringan, Muatan Roket.

I. PENDAHULUAN

PAYLOAD atau muatan roket merupakan salah satu objek elektronika yang saat ini tengah berkembang melalui sebuah kompetisi yang dibangun oleh Dikti bersama LAPAN yaitu Komurindo. Muatan roket (payload) adalah substansi yang dibawa di dalam roket. Pada Kompetisi Muatan Roket Indonesia, setiap muatan roket yang dilombakan menggunakan sensor-sensor untuk mengukur parameter-parameter meteorologi dan perilaku gerak roket. Untuk itu, muatan roket dilengkapi dengan sensor seperti: sensor suhu,

sensor *accelerometer*, sensor kelembapan, sensor tekanan, sensor kamera, sensor kompas digital dan sensor *magnetometer*.

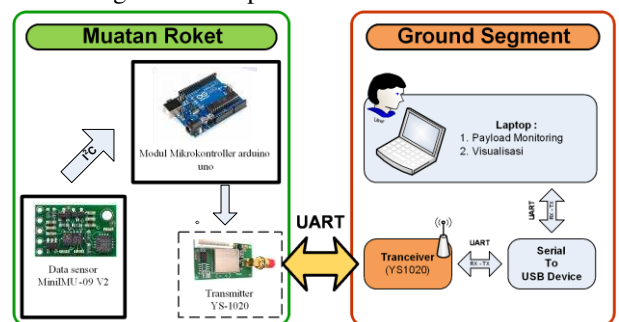
Sensor kompas digital dan sensor *magnetometer* pada hakikatnya memiliki prinsip kerja yang sama. Sensor kompas digital merupakan modul sensor *magnetometer* dengan keluaran berupa sudut yang menyatakan arah hadap. Sedangkan sensor *magnetometer* keluarannya berupa besar medan magnet bumi yang diukur dalam tiga sumbu yang dapat digunakan untuk menentukan sudut arah hadap dengan rumusan tertentu.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berjudul "Implementasi Sensor Kompas Digital Untuk Memonitor Arah Muatan Roket". Sensor kompas digital memiliki kelemahan ketika sensor kompas (CMPS03) dalam keadaan semakin miring terhadap bidang datar maka data arah kompas memiliki persentase *error* semakin besar yang akan menyebabkan data arah tidak valid. (Gapaiasa, 2011)

Pada sensor *magnetometer* untuk menghindari kesalahan pengukuran pada keadaan sensor miring digunakan perhitungan kompensasi kemiringan dengan menggunakan keluaran sensor *accelerometer*.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dimulai dengan membuat blok diagram sistem. Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem monitoring sudut hadap.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Penjelasan mengenai blok diagram di atas adalah sebagai berikut:

- 1) Sensor LSM303DLHC yang terdapat dalam modul sensor MiniIMU-09 V2 berfungsi pengukur nilai *magnetic field* (*magnetometer*) dan percepatan (*accelerometer*) dari muatan roket.
- 2) Modul mikrokontroler arduino uno berfungsi untuk mengakomodasi output sensor LSM303DLHC (*magnetometer* dan *accelerometer*) dan melakukan

Eko Saifulloh Noor adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: eko.saifulloh@gmail.com).

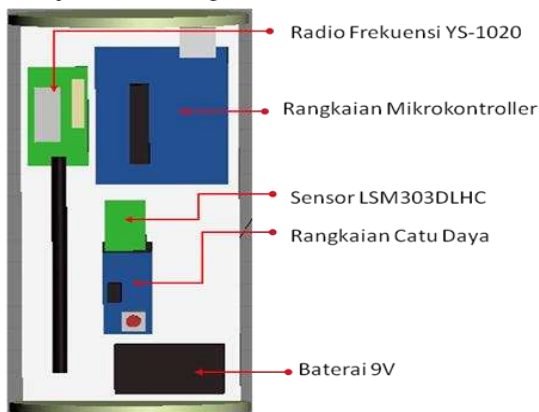
Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: rifan@ub.ac.id; ponco@ub.ac.id).

pengolahan data sehingga didapat data arah muatan roket.

- 3) *Transceiver* YS-1020 berfungsi sebagai penerima dan pengirim data arah ke laptop.
- 4) Serial to USB device berfungsi sebagai koneksi secara serial antara *receiver* dengan laptop.
- 5) Laptop berfungsi untuk memonitoring arah muatan roket dalam bentuk visual dan grafik.

A. Perancangan Sistem Mekanik

Sistem mekanik dirancang sebagai penopang komponen elektrik, serta melindunginya saat roket terjadi firing dan saat muatan roket separasi. Muatan Roket yang dirancang dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Bentuk dan tata letak komponen muatan roket ditunjukkan dalam gambar 2.

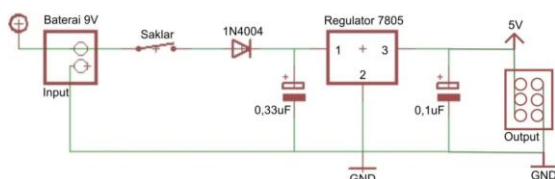


Gambar 2. Bentuk dan Tata Letak Komponen Muatan Roket

B. Perancangan Rangkaian Catu Daya

- Arus untuk mencatu modul mikrokontroler sebesar 50mA. Daya yang dibutuhkan mikrokontroler sebesar $5V \times 50mA = 250mW$.
- Arus yang dibutuhkan oleh pemancar RF YS1020 sebesar 55mA. Daya yang dibutuhkan pemancar RF YS1020 sebesar $5V \times 55mA = 275mW$.
- Arus untuk mencatu modul sensor MiniIMU-09 v2 sebesar 10mA. Daya yang dibutuhkan sensor MiniIMU-09 v2 sebesar $5V \times 10mA = 50mW$.

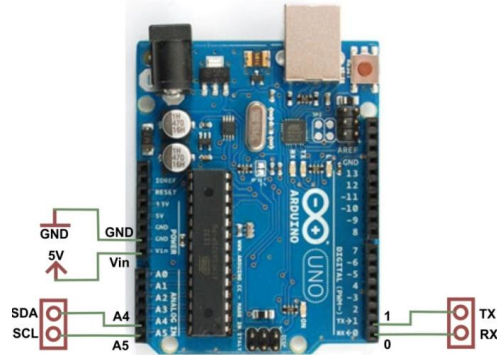
Dari rincian tersebut diperoleh daya maksimum yang dibutuhkan rangkaian adalah sebesar 0,575 W. Rangkaian catu daya menggunakan IC regulator 7805 yang dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5V dengan arus maksimal sebesar 500mA. Daya maksimum yang dapat dihasilkan adalah sebesar 2,5W. Sehingga rangkaian catu daya dengan menggunakan IC regulator 7805 ini sudah dapat memenuhi kebutuhan keseluruhan sistem. Skematik rangkaian catu daya ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Rangkaian Catu Daya

C. Perancangan Rangkaian Modul Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah ATmega328 yang terangkai pada modul mikrokontroler Arduino Uno R3, yang berfungsi untuk mengolah data sensor *magnetometer* dan *accelerometer*. Rangkaian modul mikrokontroler Arduino Uno R3 ditunjukkan dalam gambar 4.



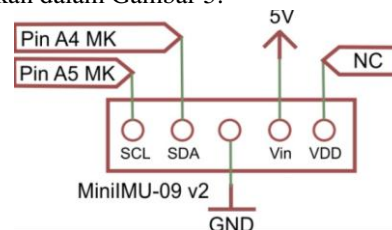
Gambar 4. Rangkaian Modul Mikrokontroler Arduino Uno R3

Pembagian pin modul mikrokontroler Arduino Uno R3 yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah:

- 1) Pin GND dihubungkan dengan ground dari rangkaian catu daya.
- 2) Pin Vin dihubungkan dengan tegangan 5V dari rangkaian catu daya.
- 3) Pin A5 digunakan sebagai jalur SCL untuk modul sensor MiniImu-09 V2.
- 4) Pin A4 digunakan sebagai jalur SDA untuk modul sensor MiniImu-09 V2.
- 5) Pin 0 digunakan sebagai jalur penerima data serial (Rx) dari RF.
- 6) Pin 1 digunakan sebagai jalur pengirim data serial (Tx) kepada RF.

D. Perancangan Antarmuka Sensor MiniIMU-09 v2

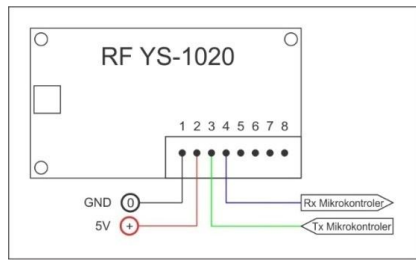
Modul Sensor MiniIMU-09 v2 dalam alat ini terdapat sensor *magnetometer* dan *accelerometer* yang digunakan untuk menentukan arah payload terhadap titik utara. Pin SCL dan SDA dihubungkan ke Pin A5 dan Pin A4 modul mikrokontroler Arduino Uno R3. Skema rangkaian antarmuka modul Sensor MiniIMU-09 v2 ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Antarmuka Sensor MiniIMU-09 v2

E. Perancangan RF Transceiver YS-1020

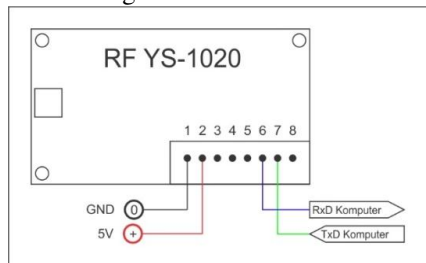
Modul RF Transceiver yang dipasang pada *payload* berfungsi untuk meneruskan data yang dikirim dari dan menuju mikrokontroler. Oleh karena mikrokontroler yang digunakan bekerja pada level TTL, maka pin yang digunakan sebagai jalur transfer data pada modul RF Transceiver YS-1020 adalah pin 3 (Rx) dan pin 4 (Tx). Rangkaian RF Transceiver YS-1020 ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian RF Transceiver YS-1020

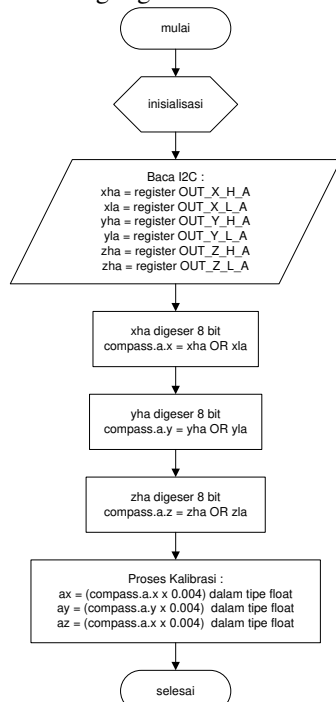
F. Perancangan Sistem Elektrik Ground Station

Ground Station memiliki rangkaian elektrik yang berupa modul RF Transceiver YS-1020 yang berfungsi meneruskan data yang dikirim dari dan menuju komputer. Komputer menerima dan mengirimkan data melalui komunikasi serial (RS232). Sehingga untuk menghubungkan modul RF Transceiver YS-1020 dengan komputer, pin yang digunakan adalah pin 6 dan pin 7. Rangkaian Sistem Elektrik *Ground Station* ditunjukkan dalam gambar 7.

Gambar 7. Rangkaian Sistem Elektrik *Ground Station*

G. Subprogram Pembacaan Data Accelerometer

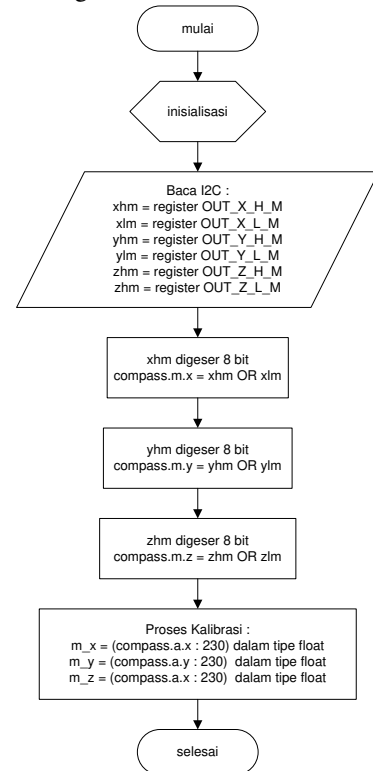
Data yang diperoleh modul sensor *accelerometer* adalah data mentah percepatan gravitasi yang direpresentasikan dalam *signed integer* 16 bit. Di perancangan, skala penuh yang dipilih adalah 8g artinya data mentah sejumlah 65536 mewakili kecepatan sudut mulai 0g hingga 8g. Sensitifitas modul sensor saat skala penuh ini adalah 4 mg/digit.



Gambar 8. Diagram Alur Program Pembacaan Data Accelerometer

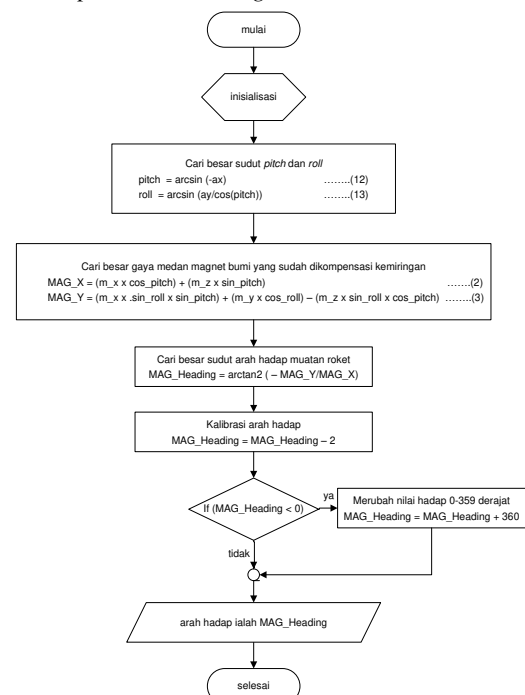
H. Subprogram Pembacaan Data Magnetometer

Data yang diperoleh modul sensor *magnetometer* adalah data mentah gaya medan magnet bumi yang direpresentasikan dalam *signed integer* 16 bit. Di perancangan, skala penuh yang dipilih adalah 8,1 gauss artinya data mentah sejumlah 65536 mewakili gaya medan magnet bumi mulai 0 gauss hingga 8,1 gauss. *Magnetic gain setting* modul sensor saat skala penuh ini adalah 230 LSB/gauss.



Gambar 9. Diagram Alur Program Pembacaan Data Magnetometer

I. Subprogram Penghitungan Arah Hadap dengan Kompensasi Kemiringan



Gambar 10. Diagram Alur Subprogram Penghitungan Arah Hadap Dengan Kompensasi Kemiringan

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan.

A. Pengujian Rangkaian Catu Daya

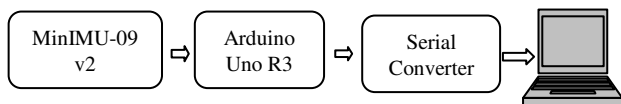
Sebagai masukan catu daya digunakan baterai 9V 300mAh yang diproses oleh rangkaian regulator linier untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5V. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *voltmeter* sebanyak dua kali, yaitu saat rangkaian catu daya tanpa beban dan saat rangkaian catu daya mendapat beban elektrik dari sistem. Hasil pengujian rangkaian catu daya ditunjukkan dalam tabel 1.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN CATU DAYA

Pengujian	Tegangan (V)
Tanpa Beban	4.98
Dengan Beban	4.96

B. Pengujian Sensor LSM303DLHC

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 11. Pengambilan data modul sensor menggunakan perangkat I²C yang telah terdapat dalam fitur modul mikrokontroler arduino Uno R3. Data percepatan gravitasi dan gaya medan magnet bumi yang terukur dikirimkan ke komputer melalui perangkat *serial converter* RS-232. Kemudian data tersebut diamati dan dicatat untuk dianalisa berdasarkan table Definisi tanda pengukuran baku sensor LSM303DLH.

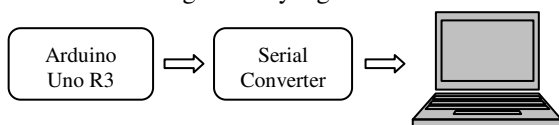


Gambar 11. Blok Diagram Pengujian Sensor MiniIMU-09 v2

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan tampak bahwa modul sensor MiniIMU-09 V2 dapat bekerja dengan baik mendeteksi nilai percepatan gravitasi dan nilai gaya medan magnet bumi dalam tiga sumbu. Hal tersebut dapat dilihat dari kesesuaian keluaran sensor pada enam posisi yang menjadi acuan kalibrasi sensor berdasarkan *datasheet*.

C. Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno R3

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 12. Perangkat UART yang ada dalam modul mikrokontroler arduino Uno R3 mengirimkan data ke komputer melalui perangkat *serial converter* RS-232. Kemudian data tersebut dianalisa apakah data yang dikirim sesuai dengan data yang diterima.



Gambar 12. Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno

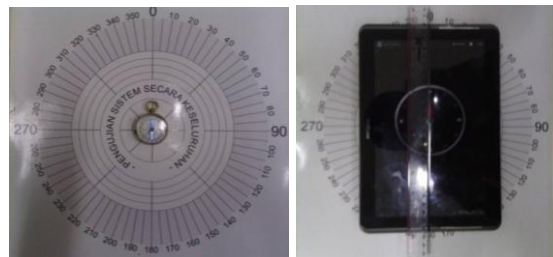
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan perangkat UART modul mikrokontroler Arduino Uno R3 dapat bekerja dengan baik mengirimkan data ke komputer.

D. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian keseluruhan bertujuan untuk menganalisis kemampuan sistem di muatan roket dalam memonitor arah hadap pada bidang datar dan saat mengalami kemiringan tertentu. Sehingga ada dua tahap pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian arah hadap muatan roket pada kondisi sejajar bidang datar dan pengujian pengkompensasi kemiringan pada saat muatan roket mengalami kemiringan terhadap bidang datar.

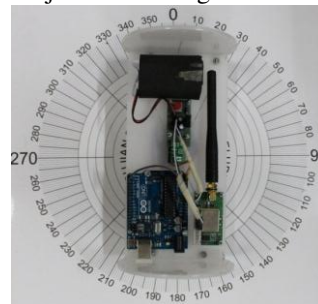
pengujian arah hadap pada keadaan mendatar dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) menentukan titik acuan 0° (arah utara) menggunakan modul kompas yang tertanam pada tablet pc Samsung galaxy tab 2 gt p5100 melalui *software smart compass* dan modul kompas analog.



Gambar 13. Penentuan Titik Acuan 0°

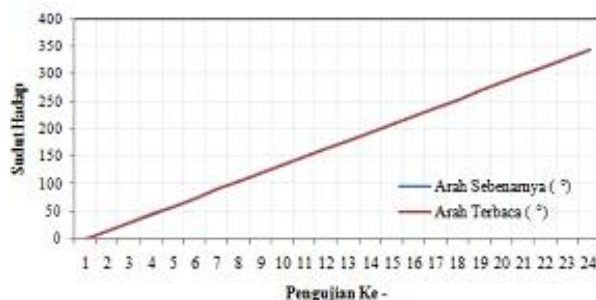
- 2) Muatan roket diletakkan pada papan pengujian, dengan mengarahkan *heading* sensor pada titik 0°, seperti ditunjukkan dalam gambar 16.



Gambar 14. Posisi Muatan Roket pada Bidang Pengujian

- 3) Mengamati data hasil pengukuran pada komputer atau PC.
- 4) Muatan roket diputar searah jarum jam sebesar 15°.
- 5) Mengamati data hasil pengukuran pada komputer atau PC.
- 6) Mengulangi langkah 3 dan 4 hingga sudut 345°.

Data hasil pengujian arah hadap pada Bidang Datar ditunjukkan dalam gambar 15.

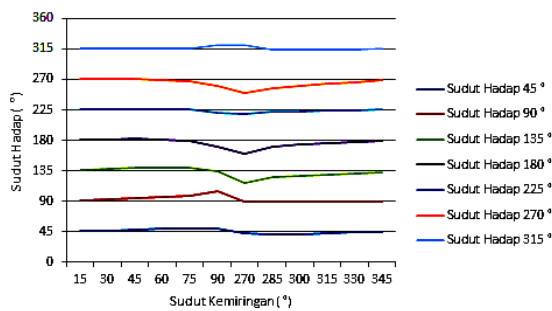


Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Arah Hadap pada Bidang Datar

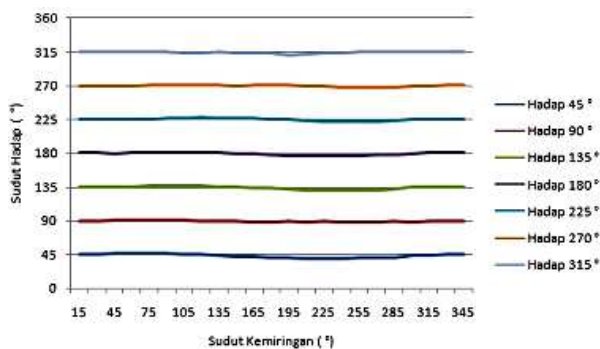
Miring (°)	Hadap							Rata- rata
	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
15	0.74	0.74	0.99	0.56	0.15	0.37	0.11	0.52
30	2.22	2.22	2.22	0.74	0.15	0.37	0.32	1.18
45	7.41	4.44	2.72	1.11	0.3	0	0.32	2.33
60	8.89	6.67	3.21	0.93	0.44	0.49	0.32	2.99
75	11.85	9.63	2.96	0.74	0.3	1.23	0.21	3.85
90	11.11	17.04	0.25	4.81	1.78	3.46	1.8	5.75
270	5.19	1.11	13.09	10.56	2.52	7.28	1.9	5.95
285	8.15	1.11	7.41	5.56	1.48	5.06	0.53	4.19
300	7.41	1.11	5.43	2.96	0.89	3.7	0.63	3.16
315	6.67	1.11	3.95	2.04	0.3	2.1	0.63	2.40
330	2.96	1.11	2.72	1.3	0.15	1.36	0.11	1.39
345	0.74	1.11	1.48	0.37	0	0.12	0	0.55
	Kesalahan Rata-Rata							2.85

TABEL 5
RATA-RATA KESALAHAN GERAK *ROLL*

Miring (°)	Hadap							Rata-rata
	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
15	0	0	0	0	0.15	0.25	0	0.06
30	0.74	0.37	0.25	0	0.15	0.37	0	0.27
45	3.7	0.37	0	0.19	0.3	0.37	0	0.70
60	4.44	0.74	0.25	0	0	0.49	0.11	0.86
75	2.96	1.11	0.74	0	0.15	0	0.11	0.72
90	2.96	1.11	0.99	0.19	0.3	0	0.21	0.82
105	0.74	1.11	1.48	0.74	0.74	0.12	0.42	0.76
120	0	0	1.23	0.74	1.04	0.25	0.32	0.51
135	2.22	0	0.49	0.19	0.44	0.12	0.11	0.51
150	5.93	0.74	0	0.19	0.59	0.12	0.32	1.13
165	7.41	2.22	0.99	0.19	0.44	0.12	0.42	1.68
180	9.63	2.22	1.48	1.11	0.15	0.12	0.74	2.21
195	10.37	1.48	2.22	1.85	0.3	0	1.59	2.54
210	11.11	1.85	2.96	2.04	0.59	0.25	1.16	2.85
225	11.11	1.48	3.21	2.22	1.19	0.49	0.42	2.87
240	11.11	2.22	3.7	1.85	1.33	0.74	0.32	3.04
255	9.63	2.22	3.21	1.85	1.33	0.74	0.11	2.73
270	8.15	2.22	3.21	1.3	1.48	0.74	0.21	2.47
285	8.89	1.48	2.47	0.93	0.44	0.62	0.11	2.13
300	4.44	1.85	0.49	0.56	0	0.25	0.11	1.10
315	2.22	1.48	0	0.19	0.3	0.12	0.11	0.63
330	0.74	0.37	0	0	0.15	0	0	0.18
345	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Kesalahan Rata-Rata								1.34



Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian Peng-kompensasi Kemiringan Muatan Roket yang Disebabkan Gerak *Pitch*



Gambar 19. Grafik Hasil Pengujian Peng-kompensasi Kemiringan Muatan Roket yang Disebabkan Gerak *Roll*

Berdasarkan hasil pengujian peng-kompensasi kemiringan muatan roket oleh gerak *pitch* yang dilakukan. Muatan roket hingga kemiringan $\pm 90^\circ$ dari bidang datar dapat menghasilkan arah hadap yang baik. Selisih dengan sudut acuan rata-rata sebesar 2.85%, kesalahan minimum terdapat di pengujian 15° dengan selisih 0.52% dan kesalahan maksimum terdapat di pengujian 270° dengan selisih 5.95 %.

Berdasarkan hasil pengujian peng-kompensasi kemiringan muatan roket oleh gerak *roll* yang dilakukan. Muatan roket dapat menghasilkan arah hadap yang baik dalam satu putaran penuh (0° - 359°). selisih dengan sudut acuan rata-rata sebesar 1.34%, kesalahan minimum terdapat di pengujian 345° dengan selisih 0%

dan kesalahan maksimum terdapat di pengujian 240° dengan selisih 3.04%.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilaksanakan didapat kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dalam perancangan pemonitor arah hadap, untuk menghasilkan arah hadap yang akurat sumbu pengindera (*sensing axes*) dari *accelerometer* dan *magnetometer* harus berimpit dengan sumbu badan alat (*device body axes*) dari pemonitor, serta sensor *magnetometer* harus dijauhkan dari benda-benda yang memiliki medan magnet.
- 2) Data keluaran modul sensor *accelerometer* LSM303DLHC berupa data mentah percepatan gravitasi. Data tersebut harus diolah terlebih dahulu menjadi data sudut *pitch* dan *roll* kemudian bersama dengan data keluaran modul sensor *magnetometer* LSM303DLHC diolah dalam rumus penghasil arah hadap dengan kompensasi kemiringan.
- 3) Pemonitor arah hadap dapat berfungsi dengan baik mengukur sudut hadap dengan kemiringan berdasarkan gerak *roll* dalam satu putaran penuh, dengan selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 3.04%. Sedangkan dengan kemiringan berdasarkan gerak *pitch* sudut hadap dapat terukur dengan baik dalam kemiringan maksimal $\pm 90^\circ$, dengan selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 5.95%. Ketika kemiringan sudut *pitch* melewati $\pm 90^\circ$ arah hadap akan berubah 180° .

B. Saran

Saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem dalam penelitian ini adalah sistem dapat dikembangkan dengan menggabungkan sensor GPS untuk mengetahui posisi muatan roket. Dengan mengetahui posisi dan arah hadap muatan roket dapat dikembangkan sistem penggerak untuk menggerakkan muatan roket kembali ke titik peluncuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Buku Panduan KOMURINDO 2013, 2012, halaman 5.
- [2] ShenZen Yishi Electronic Technology Development. 2000. YS-1020UB RF Data Transceiver. <http://lapan.te.ugm.ac.id/download.php?f=YS1020UB%20manual.pdf>
- [3] STMicroelectronics. 2010. Using LSM303DLHC For a Tilt Compensated Electronic Compass – AN3192 Application Note (Versi 02 Agustus 2010). www.pololu.com/file/0J434/LSM303DLH-compass-app-note.pdf

Eko Saifulloh Noor, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2013, Implementasi Sensor Magnetometer dan Akselerometer Untuk Memonitor Arah Muatan Roket, Dosen Pembimbing: Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.